

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-033316

(43)Date of publication of application : 31.01.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/312
C08G 83/00
C23C 16/26
C23C 16/40
C23C 16/505
H01L 21/314
H01L 21/316
H01L 21/768

(21)Application number : 2001-113469

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 25.08.1997

(72)Inventor : AOI NOBUO
SUGAWARA TAKESHI
ARAI YASUSHI
SAWADA KAZUYUKI

(30)Priority

Priority number : 08228112
08268571
09023522

Priority date : 29.08.1996
09.10.1996
06.02.1997

Priority country : JP

JP

JP

(54) METHOD OF FORMING INTERLAYER INSULATING FILM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve film-formation property, cost and processing properties of an interlayer insulating film which consists of an organic SOG film.

SOLUTION: An interlayer insulating film, consisting of an organic matter bearing silicon oxide film, is formed by subjecting a raw material whose main ingredient is an organic silicon compound represented by a general formula: $R_1xSi(OR_2)_{4-x}$, where R_1 represents a phenyl group or a vinyl group, R_2 represents an alkyl group and x is an integer of 1-3, to plasma polymerization or making the raw material react with an oxidizing agent. Examples of an organic silicon compound, where R_1 represents a phenyl group, include phenyltrimethoxysilane and diphenyldimethoxysilane. Examples of an organic silicon compound where R_1 represents a vinyl group include vinyltrimethoxysilane and divinyl dimethoxysilane.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.02.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]
[Patent number] 3538159
[Date of registration] 26.03.2004
[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-03959
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 07.03.2002
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-33316

(P2002-33316A)

(43)公開日 平成14年1月31日(2002.1.31)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト ⁸ (参考)
H 0 1 L 21/312		H 0 1 L 21/312	C 4 J 0 3 1
C 0 8 G 83/00		C 0 8 G 83/00	4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/26		C 2 3 C 16/26	5 F 0 3 3
16/40		16/40	5 F 0 5 8
16/505		16/505	
審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 20 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2001-113469(P2001-113469)
 (62)分割の表示 特願平9-227736の分割
 (22)出願日 平成9年8月25日(1997.8.25)

(31)優先権主張番号 特願平8-228112
 (32)優先日 平成8年8月29日(1996.8.29)
 (33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平8-268571
 (32)優先日 平成8年10月9日(1996.10.9)
 (33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平9-23522
 (32)優先日 平成9年2月6日(1997.2.6)
 (33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005821
 松下電器産業株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 青井 信雄
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72)発明者 菅原 岳
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(74)代理人 100077931
 弁理士 前田 弘 (外7名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 層間絶縁膜の形成方法

(57)【要約】

【課題】 有機SOG膜よりなる層間絶縁膜の製膜性、コスト性及び加工性を向上させる。

【解決手段】 一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ (但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。) で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。 R^1 がフェニル基である有機シリコン化合物としては、フェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランが挙げられ、 R^1 がビニル基である有機シリコン化合物としては、ビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランが挙げられる。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は 1～3 の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 2】 前記有機シリコン化合物は、フェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 3】 前記有機シリコン化合物は、ビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 4】 一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は 1～3 の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 5】 前記有機シリコン化合物は、フェニルシラン又はジフェニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 6】 前記有機シリコン化合物は、ビニルシラン又はジビニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 7】 分子中に炭素原子同士の二重結合を 2 つ以上有する弗化炭素化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 8】 前記弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることを特徴とする請求項 7 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 9】 前記弗化炭素化合物はヘキサフルオロー 1, 3-ブタジエンであることを特徴とする請求項 8 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 10】 分子中に炭素原子同士の三重結合を有する弗化炭素化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 11】 前記弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることを特徴とする請求項 10 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 12】 前記弗化炭素化合物は、ヘキサフルオロー 2-ブチンであることを特徴とする請求項 11 に記

載の層間絶縁膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体装置における層間絶縁膜の形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体装置における層間絶縁膜としては、シリコン酸化膜、有機 SOG (Spin On Glass) よりなる有機成分を含有するシリコン酸化膜及び有機高分子膜が知られている。

【0003】ところで、半導体装置の層間絶縁膜には、配線容量を低減できる低い比誘電率と、半導体プロセスに耐える高い耐熱性とが求められる。

【0004】半導体基板の上に形成される LSI の微細化の進展により、金属配線同士の間の寄生容量である配線容量の増加が顕著となっており、これに伴って配線遅延による LSI の性能の劣化が重大な問題となっている。配線容量は、金属配線同士の間のスペースの大きさと、該スペースに存在する層間絶縁膜の比誘電率とによって決定される。従って、配線容量の低減のためには、層間絶縁膜の比誘電率を低減することが重要である。

【0005】また、層間絶縁膜の耐熱性が低い場合には、半導体プロセスにおいて例えば 400℃ 程度の熱処理を行なうと、層間絶縁膜が軟化して配線構造が流動化するため、配線の断線やショートという致命的な故障を引き起こすことになる。従って、層間絶縁膜としては、400℃ 程度の熱処理に耐える耐熱性が求められる。

【0006】ところで、シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜は比誘電率が高いという問題があるため、酸化シリコンに弗素が添加されてなる弗素添加シリコン酸化膜が提案されている。ところが、弗素添加シリコン酸化膜は、酸化膜を構成するシリコン原子に分極率の小さい弗素原子を結合させることによって低誘電率化を図っているが、弗素の添加量の増加に伴って吸湿性が増すので、比誘電率としては 3.5 程度が限度である。従って、高度に微細化された LSI における層間絶縁膜としては、弗素添加シリコン酸化膜等のシリコン酸化膜は採用し難い。

【0007】そこで、高度に微細化された LSI における層間絶縁膜としては、低い比誘電率を有する有機 SOG 膜又は有機高分子膜の採用が考慮される。

【0008】有機 SOG 膜は、メチル基やフェニル基等の有機成分を有するシリカ又はシロキサンを含有する溶液が熱硬化することにより形成され、熱硬化後も膜中に有機成分が残存しているので、3.0 程度の低い比誘電率が得られる。

【0009】以下、第 1 の従来例として、有機 SOG 膜よりなる層間絶縁膜の形成方法について図 6 (a) ～ (d) を参照しながら説明する。

【0010】まず、図 6 (a) に示すように、半導体基

3

板 1 の上に第 1 層の金属配線 2 を形成した後、例えばテトラエトキシシランと酸素との混合ガスを原料とするプラズマ CVD 法により、第 1 層の金属配線 2 を含む半導体基板 1 の上に全面に亘って第 1 のシリコン酸化膜 3 を形成する。その後、第 1 のシリコン酸化膜 3 の上に有機 SOG 薬液を回転塗布した後、熱硬化させて有機 SOG 膜 4 を形成する。

【0011】次に、図 6 (b) に示すように、有機 SOG 膜 4 に対して全面エッチバックを施して、第 1 の金属配線 2 の上に形成されている有機 SOG 膜 4 を除去する。

【0012】次に、図 6 (c) に示すように、例えばテトラエトキシシランと酸素との混合ガスを原料とするプラズマ CVD 法により、残存する有機 SOG 膜 4 を含む第 1 のシリコン酸化膜 3 の上に全面に亘って第 2 のシリコン酸化膜 5 を形成する。

【0013】次に、図 6 (d) に示すように、第 2 のシリコン酸化膜 5 及び第 1 のシリコン酸化膜 3 に対してレジストパターンをマスクとしてコンタクトホールを形成した後、レジストパターンを酸素プラズマにより除去する。その後、コンタクトホールに金属材料を埋め込んでコンタクト 6 を形成した後、第 2 のシリコン酸化膜 5 の上に第 2 層の金属配線 7 を形成すると、第 1 層の金属配線 2 と第 2 の金属配線 7 との間に、第 1 のシリコン酸化膜 3、有機 SOG 膜 4 及び第 2 のシリコン酸化膜 5 よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0014】以下、第 2 の従来例として、有機高分子膜である弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜の形成方法について説明する。弗素化アモルファスカーボン膜は、例えば、技術文献である「Extended Abstracts of the 1995 International Conference on Solid State Devices and Materials, Osaka, 1995, pp177-179」に示されているように、 CH_4 等の炭化水素系成分と、 CF_4 等の弗素含有成分との混合物を原料とするプラズマ CVD 法によって形成される。

【0015】すなわち、平行平板型のプラズマ CVD 装置の反応室内に原料ガスを導入した後、反応室内を数百 mTorr の圧力に保つと共に、反応室内の平行平板電極に 13.56 MHz で 100~300 W 程度の高周波電力を印加すると、原料ガスが部分的に分解してモノマー、イオン及びラジカルが生成される。その後、生成されたモノマー、イオン及びラジカルがプラズマ重合反応して、半導体基板上にプラズマ重合膜である弗素化アモルファスカーボン膜が堆積する。このようにして形成された弗素化アモルファスカーボン膜の堆積直後における比誘電率は 2.0~2.5 であって低い値を示す。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前者の有機 SOG 膜は、有機 SOG 薬液を回転塗布する工程と、塗布された有機 SOG 膜を熱硬化させる工程とをそれぞれ

4

複数回づつ行なって形成されるので、有機 SOG 膜の形成に多くの時間を要するので製膜性が悪いという問題、及び有機 SOG 薬液を回転塗布する際に該薬液の大部分が無駄になるのでコストが高くなるという問題がある。

【0017】一方、図 6 (b) に示すように、有機 SOG 膜 4 に対して全面エッチバックを施すことなく、有機 SOG 膜 4 及び第 1 のシリコン酸化膜 3 にレジストパターンをマスクとしてコンタクトホールを形成した後、レジストパターンを酸素プラズマにより除去し、その後、コンタクトホールに金属材料を埋め込んでコンタクトを形成する場合には、以下に説明するような問題が生じる。すなわち、レジストパターンを酸素プラズマにより除去する工程において、コンタクトホールの側壁に露出した有機 SOG 膜 4 に含まれる Si-CH_3 が酸素プラズマと反応して Si-OH が生成される。この Si-OH は、コンタクトホールに金属材料を埋め込む工程において脱水縮合して H_2O を生成する。生成された H_2O はコンタクトにおける金属の酸化や汚染を引き起こし、コンタクトにおける導通不良の原因となる。

【0018】また、後者の弗素化アモルファスカーボン膜よりなる有機高分子膜は、比誘電率が極めて小さいという長所を有しているが、ガラス転移点が低いので耐熱性に劣るという問題がある。すなわち、従来の弗素化アモルファスカーボン膜は、300℃以上の温度の熱処理が施されると、膜厚が大きく減少すると共に比誘電率が大きく増加してしまうという問題がある。例えば、 CH_4 及び CF_4 を原料として形成され、堆積直後の比誘電率が 2.2 である弗素化アモルファスカーボン膜に対して 300℃の温度下で 1 時間の熱処理を施した場合に、膜厚が約 35% も減少して堆積直後の膜厚の 65% 程度にまで収縮すると共に、比誘電率も 2.8 程度にまで増加してしまう。

【0019】尚、前記の各問題点は、下層の金属配線層と上層の金属配線層との間に形成される層間絶縁膜に限られず、一の金属配線層を構成する金属配線同士の間形成される層間絶縁膜においても生じる。

【0020】前記に鑑み、本発明は、有機 SOG 膜よりなる層間絶縁膜の製膜性、コスト性及び加工性を向上させることを第 1 の目的とし、有機高分子膜よりなる層間絶縁膜の耐熱性を向上させることを第 2 の目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】前記第 1 の目的を達成するため、本発明に係る第 1 の層間絶縁膜の形成方法は、一般式： $\text{R}^1_x\text{Si}(\text{OR}^2)_{4-x}$ (但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は 1~3 の整数である。)又は一般式： $\text{R}^1_x\text{SiH}_{4-x}$ (但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は 1~3 の整数である。)で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸

10

20

30

40

50

化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0022】第1の層間絶縁膜の形成方法によると、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）、又は一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とするため、従来の有機SOG膜に比べて、層間絶縁膜中に含まれる $SiCH_3$ の割合が大きく低減しており、該層間絶縁膜を酸素プラズマに晒しても、 $SiOH$ は僅かしか生成されない。また、第1の層間絶縁膜の形成方法は、有機シリコン化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって有機含有シリコン酸化膜を形成するため、有機SOGの薬液を塗布する工程及び硬化する工程を行なう必要がない。

【0023】第1の層間絶縁膜の形成方法において、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物は、フェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランであり、一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物は、フェニルシラン又はジフェニルシランであることが好ましい。

【0024】また、第1の層間絶縁膜の形成方法において、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物は、ビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランであり、一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物は、ビニルシラン又はジビニルシランであることが好ましい。

【0025】前記第2の目的を達成するため、本発明に係る第2の層間絶縁膜の形成方法は、分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有する弗化炭素化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0026】第2の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0027】第2の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることが好ましい。

【0028】この場合、弗化炭素化合物は、ヘキサフルオロー1, 3-ブタジエンであることがより好ましい。

【0029】前記第2の目的を達成するため、本発明に係る第3の層間絶縁膜の形成方法は、分子中に炭素原子同士の三重結合を有する弗化炭素化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化ア

モルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0030】第3の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の三重結合を有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0031】第3の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることが好ましい。

【0032】この場合、弗化炭素化合物は、ヘキサフルオロー2-ブチンであることがより好ましい。

【0033】前記第2の目的を達成するため、本発明に係る第4の層間絶縁膜の形成方法は、分子中に多環構造を有する弗化炭素化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0034】第4の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に多環構造を有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0035】第4の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることが好ましい。

【0036】第4の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物は、分子中に縮合多環構造を有することが好ましい。

【0037】この場合、弗化炭素化合物は、パーフルオロデカリン又はパーフルオロフロレンであることがより好ましい。

【0038】本発明に係る第5の層間絶縁膜の形成方法は、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる化合物又はシロキサン誘導体よりなる有機シリコン化合物と、弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、弗化炭素含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0039】第5の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり、層間絶縁膜は、有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第1の層間絶縁膜の形成方法と同様、有機SOG膜を形成する場合に必要であった、有機

SOGの薬液を塗布する工程及び硬化する工程を行なう必要がない。

【0040】本発明に係る第6の層間絶縁膜の形成方法は、有機シリコン化合物と、分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有する弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、弗化炭素含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0041】第6の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第2の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0042】本発明に係る第7の層間絶縁膜の形成方法は、有機シリコン化合物と、分子中に炭素原子同士の三重結合を有する弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、弗化炭素含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0043】第7の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第3の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の三重結合を有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0044】本発明に係る第8の層間絶縁膜の形成方法は、有機シリコン化合物と、多環構造を有する化合物よりなる弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、弗化炭素含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成する。

【0045】第8の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を

形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第4の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に多環構造を有しているため、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると、未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすい。このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進するため、耐熱性に優れた弗素化アモルファスカーボン膜となる。

【0046】第6～第8の層間絶縁膜の形成方法において、有機シリコン化合物は、一般式： $R^1_x Si(O R^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる化合物又はシロキサン誘導体よりなることが好ましい。

【0047】

【発明の実施の形態】以下、本発明の各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明するが、その前提として、各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法に用いられるCVD装置について図1を参照しながら説明する。

【0048】図1は平行平板型のプラズマCVD装置の概略構成を示している。図1に示すように、内部が気密に保持される反応室11の内部には、シリコンよりなる半導体基板12が載置されると共に下部電極となる試料台13が設けられており、該試料台13は切替スイッチ14を介して第1の高周波電源15又は接地に接続される。尚、試料台13の内部には、図示を省略したヒーターが設けられており、試料台13に載置される半導体基板12はヒーターによって所定の温度に加熱される。反応室11の内部における試料台13と対向する位置には上部電極となるシャワーヘッド16が設けられており、該シャワーヘッド16には13.56MHzの高周波電力を供給する第2の高周波電源17が接続されている。

【0049】反応室11には、反応室11内に原料ガスを導入するための第1のガス供給ライン21、第2のガス供給ライン22及び第3のガス供給ライン23とが設けられている。第1のガス供給ライン21には、液体よりなる原料を貯蔵する第1の貯蔵容器24が設けられ、図示しないマスフローコントローラを介して流量が制御されたキャリアガスが第1の貯蔵容器24に供給されると、第1の貯蔵容器24から反応室11内にバブリングされた原料ガスが導入される。第2のガス供給ライン22には、液体よりなる原料を貯蔵する第2の貯蔵容器25が設けられ、図示しないマスフローコントローラを介して流量が制御されたキャリアガスが第2の貯蔵容器25に供給されると、第2の貯蔵容器25から反応室11内にバブリングされた原料ガスが導入される。また、反応室11には真空ポンプ26が接続されており、該真空ポンプ26の駆動により反応室11内のガスを排気して反応室11の内部を真空状態にすることができる。

【0050】以下、本発明の各実施形態に係る層間絶縁

膜の形成方法が適用される第1の半導体装置の製造方法について、図2(a)～図2(d)を参照しながら説明する。

【0051】まず、図2(a)に示すように、半導体基板100の上に、例えばアルミニウムよりなる第1の金属配線101を形成した後、前記のプラズマCVD装置を用いて、図2(b)に示すように、第1の金属配線101を含む半導体基板100の上に全面に亘って層間絶縁膜102を堆積する。尚、層間絶縁膜102の形成方法については後述する。

【0052】次に、図2(c)に示すように、層間絶縁膜102に対して平坦化処理を施す。その後、図2

(d)に示すように、層間絶縁膜102にコンタクト103を形成した後、層間絶縁膜102の上に例えばアルミニウムよりなる第2の金属配線104を形成する。

【0053】以下、本発明の各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法が適用される第2の半導体装置の製造方法について、図3(a)～図3(d)を参照しながら説明する。

【0054】まず、図3(a)に示すように、半導体基板200の上に、第1層の窒化シリコン膜201、第1層の層間絶縁膜202、第2層の窒化シリコン膜203及び第2層の層間絶縁膜204を順次堆積する。尚、第1層の層間絶縁膜202及び第2層の層間絶縁膜204の形成方法については後述する。

【0055】次に、図3(b)に示すように、第2層の窒化シリコン膜203及び第2層の層間絶縁膜204をフォトリソグラフィによりパターンニングして配線パターン形成用開口部205を形成した後、第1層の窒化シリコン膜201及び第1層の層間絶縁膜202をフォトリソグラフィによりパターンニングしてコンタクト用開口部206を形成する。この場合、第2層の窒化シリコン膜203は第2層の層間絶縁膜204に対するエッチングのエッチングストッパーの役割を果たし、第1層の窒化シリコン膜201は第1層の層間絶縁膜202に対するエッチングのエッチングストッパーの役割を果たす。

【0056】次に、図3(c)に示すように、スパッタ法又はCVD法により、半導体基板200の上に全面に亘って例えば銅よりなる金属膜207を堆積した後、該金属膜207を熱処理によりリフローさせて該金属膜207を配線パターン形成用開口部205及びコンタクト用開口部206に埋め込む。

【0057】次に、金属膜207に対してCMPを行なって、図3(d)に示すように、金属膜207よりなる

金属配線208及びコンタクト209を形成すると、デュアルダマシン構造を有する埋め込み配線を形成することができる。

【0058】(第1の実施形態) 第1の実施形態に係る層間絶縁膜は、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ (但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。)で表わされる有機シリコン化合物であるフェニルトリメトキシシラン($Ph-Si-(OCH_3)_3$)を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることにより形成されるプラズマ重合膜である。

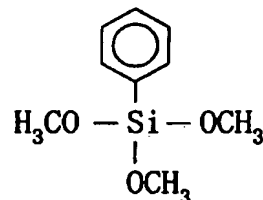
【0059】以下、第1の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0060】まず、例えば400℃に加熱され且つ切替スイッチ14により接地された試料台13の上に半導体基板12を載置した後、反応室11の内部を真空ポンプ26により真空引きする。

【0061】次に、第1の貯蔵容器24に【化1】に示されるフェニルトリメトキシシランを貯蔵すると共に、第1の貯蔵容器24に、例えばアルゴンよりなるキャリアガスを480cc/minの流量で供給して、バブリングされたフェニルトリメトキシシランを反応室11の内部に導入する。

【0062】

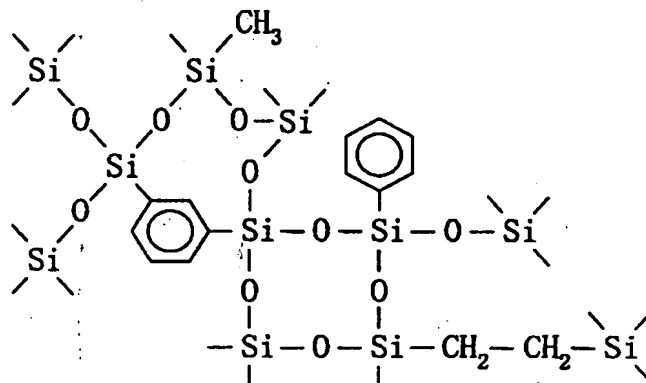
【化1】



【0063】次に、反応室11内の圧力を約1.0 Torrに調整した後、上部電極となるシャワーヘッド16に第2の高周波電源17から周波数が13.56MHzである250Wの高周波電力を印加する。このようにすると、フェニルトリメトキシシランガスが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成されると共に、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12の上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。このプラズマ重合膜の構造を【化2】に模式的に示す。

【0064】

【化2】



【0065】第1の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマCVD法により形成されるため、有機SOG薬液の塗布工程及び有機SOG膜の熱硬化工程を複数回づつ行なう必要がないので、製膜性が向上すると共にコストの低減を図ることができる。

【0066】また、第1の実施形態に係る層間絶縁膜は、従来の有機SOG膜に比べて、膜中に含まれるSi-CH₃の量が大きく低減しているため、層間絶縁膜を酸素プラズマによりエッチングをしても、SiOHは僅かしか生成されない。このため、コンタクトホールに金属材料を埋め込む工程において、SiOHが脱水縮合反応を起こしてH₂Oを生成し、コンタクトにおける導通不良を発生させるという現象が生じない。

【0067】図4は、第1の実施形態に係る層間絶縁膜及び従来の有機SOG膜に対して、フーリエ変換赤外分光分析（以下、FT-IRと示す。）を行なったときの分析結果を示している。従来の有機SOG膜においては、波数：1300（cm⁻¹）の近傍において吸光度のピークが現われているのに対して、第1の実施形態に係る層間絶縁膜においては、波数：1300（cm⁻¹）の近傍において吸光度のピークが有機SOG膜に比べて小さい。従って、第1の実施形態に係る層間絶縁膜は有機SOG膜に比べて、Si-CH₃の含有量が少ないことが分かる。

【0068】図5は、熱処理を施していない層間絶縁膜、及び窒素雰囲気中における450℃及び500℃の温度下でそれぞれ熱処理を施した層間絶縁膜に対してFT-IRを行なったときの分析結果を示している。図5に示すように、熱処理を施していない層間絶縁膜と、450℃及び500℃の温度下で熱処理を施した層間絶縁膜との間でFT-IRスペクトルに変化が見られなかったため、第1の実施形態に係る層間絶縁膜は、LSIのプロセスに耐える十分な耐熱性を有していることが分かる。

【0069】また、第1の実施形態に係る層間絶縁膜の比誘電率は約3.0であった。また、該層間絶縁膜を2週間室温で放置した後比誘電率を測定したところ約3.1であって、第1の実施形態に係る層間絶縁膜は経時変化の少ない安定した膜質であった。

【0070】さらに、リーク電流密度についても、5MV/cmで約4.5×10⁻⁸A/cm²と良好な結果が得られた。

【0071】尚、反応室11内の圧力は、約1.0 Torrに設定したが、これに限定されるものではなく、100mTorr～20Torrの範囲内で適宜選択できるが、0.5～5.0 Torrの範囲内が好ましい。

【0072】また、半導体基板12の加熱温度は、400℃であったが、これに限られず、25℃～500℃の範囲内で適宜選択可能である。もっとも、半導体基板12を400℃を越える温度に加熱すると、該半導体基板12に形成されている金属配線を構成するアルミニウムの耐熱温度を超えてしまうので、加熱温度は400℃以下が好ましい。また、半導体基板12の温度が200℃未満であると、層間絶縁膜を形成する際に不要な成分が膜中に取り込まれてしまう恐れがあるので、加熱温度は200℃以上が好ましい。

【0073】また、上部電極であるシャワーヘッド16に印加する高周波電力としては、100～1000Wの範囲内で適宜選択できるが、250～500Wの範囲内が好ましい。

【0074】また、前記の一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ において、R¹がフェニル基である化合物としては、フェニルトリメトキシシランのほかに、ジフェニルジメトキシシラン（Ph₂-Si-(OCH₃)₂）等を挙げることができ、R¹がビニル基である化合物としては、ビニルトリメトキシシラン（CH₂=CH-Si-(OCH₃)₃）及びジビニルジメトキシシラン（(CH₂=CH)₂-Si-(OCH₃)₂）等を挙げることができる。

【0075】さらに、第1の実施形態においては、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させてプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜を形成したが、これに代えて、一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ （但し、R¹はフェニル基又はビニル基であり、xは1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させてプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜を形成してもよいし、前記の一般式： $R^1_x Si(O$

R^2) $4-x$ 又は一般式: $R^1_x SiH_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、例えば O_2 や H_2O 等よりなる酸化剤と反応させて層間絶縁膜を形成してもよい。この場合には、図 1 に示す CVD 装置における第 3 のガス供給ライン 23 から O_2 ガスや H_2O ガス等を反応室 11 の内部に導入する。

【0076】尚、前記の一般式: $R^1_x SiH_{4-x}$ において、 R^1 がフェニル基である化合物としては、フェニルシラン及びジフェニルシラン等を挙げることができ、 R^1 がビニル基である化合物としては、ビニルシラン及びジビニルシラン等を挙げることができる。

【0077】(第 2 の実施形態) 第 2 の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の二重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物である 1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペン を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0078】以下、第 2 の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0079】まず、切替スイッチ 14 により接地された試料台 13 の上に半導体基板 12 を載置した後、反応室 11 の内部を真空ポンプ 26 により真空引きする。

【0080】次に、第 1 の貯蔵容器 24 に 1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンを貯蔵すると共に、第 1 の貯蔵容器 24 に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを 50~500 sccm の流量で供給して、バブリングされた 1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンを反応室 11 の内部に導入する。

【0081】次に、反応室 11 内の圧力を 100~500 mTorr に調整した後、上部電極となるシャワーヘッド 16 に第 2 の高周波電源 17 から周波数が 13.56 MHz である 100~500 W の高周波電力を印加する。このようにすると、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンガスが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板 12 上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0082】このプラズマ重合膜は、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンを主成分としているため、炭素原子及び弗素原子と共に水素原子を含んだ弗素化アモルファスカーボン膜となっており、膜堆積直後の比誘電率は 2.5 であった。

【0083】ところで、プラズマ重合膜は、原料ガスがプラズマ中で分解して生成された分解生成物であるイオンやラジカルが半導体基板 12 上で反応することにより形成されるため、プラズマ中に存在する分解生成物の特性がプラズマ重合膜の構造に対して大きな影響を与える。また、プラズマ重合膜の耐熱性は、プラズマ重合膜の構造を決定する架橋密度と密接に関連している。

【0084】従来の弗素化アモルファスカーボン膜よりなるプラズマ重合膜は、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が直鎖状であって一次元性であるため、ガラス転移点が低いので、耐熱性に劣ると考えられる。

【0085】これに対して、第 2 の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が 3 次元的になり易いため、架橋密度が高くなってガラス転移点が高くなるので、耐熱性に優れている。すなわち、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンは分子中に炭素原子同士の二重結合を有しているため、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンがプラズマ中で分解して生成される分解生成物は、半導体基板 12 上でプラズマ重合膜を形成する際に架橋反応を生じ易い。このため、得られるプラズマ重合膜は、ガラス転移点が高くなって、耐熱性に優れている。

【0086】第 2 の実施形態に係る層間絶縁膜の耐熱性を評価するために、第 2 の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が形成された半導体基板 12 を真空中における 400℃ の温度下で 1 時間保持したところ、弗素化アモルファスカーボン膜の膜厚減少は約 6% 程度に過ぎないと共に、比誘電率は約 2.6 程度であって約 0.1 の増加に留まった。これにより、第 2 の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が耐熱性に優れていることを確認できた。

【0087】尚、第 2 の実施形態においては、分子中に炭素原子同士の二重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物として、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロプロペンを代えたが、これに代えて、1H, 1H, 2H-パーフルオロヘキセン、1H, 1H, 2H-パーフルオロ-1-オクテン、トリフルオロエチレン又は 3, 3, 3-トリフルオロプロパン等を用いることができる。

【0088】第 2 の実施形態に係る層間絶縁膜の原料としては、分子中に炭素原子同士の二重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物を単独で用いてもよいし、この弗素化炭素化合物に他の成分例えば N_2 等が含まれていてもよい。

【0089】(第 3 の実施形態) 第 3 の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の二重結合を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物であるヘキサフルオロプロペンを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0090】第 3 の実施形態は、第 2 の実施形態における原料を変更したものであるから、以下においては、原料についてのみ説明する。

【0091】反応室 11 の内部にヘキサフルオロプロペンを導入すると、ヘキサフルオロプロペンが部分的に分解してプラズマ化され、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イ

オン及びラジカルが重合反応して、半導体基板 12 上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0092】第3の実施形態においては、ヘキサフルオロプロペンが水素原子を含んでいないため、炭素原子及び弗素原子のみを含む弗素化アモルファスカーボン膜であって、堆積直後における弗素化アモルファスカーボン膜の比誘電率は 2.3 であった。

【0093】また、第3の実施形態においても、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が 3 次元的になり易いため、ガラス転移点が高いので、耐熱性に優れている。

【0094】第3の実施形態に係る層間絶縁膜の耐熱性を評価するために、第3の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が形成された半導体基板 12 を真空中における 400℃ の温度下で 1 時間保持したところ、弗素化アモルファスカーボン膜の膜厚減少は約 5% 程度に過ぎないと共に、比誘電率は約 2.5 程度であって約 0.2 の増加に留まった。これにより、第3の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が耐熱性に優れていることを確認できた。すなわち、第3の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜は、水素原子を含まず、弗化炭素のみからなるので、第2の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜に比べて、耐熱性がより向上していると共に比誘電率が一層低くなっている。

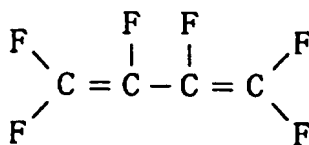
【0095】尚、第3の実施形態に係る層間絶縁膜の原料としては、分子中に炭素原子同士の二重結合を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物を単独で用いてもよいし、この弗素化炭素化合物に他の成分例えば N₂ 等が含まれていてもよい。

【0096】(第4の実施形態) 第4の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の二重結合を 2 つ有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物であるヘキサフルオロ-1, 3-ブタジエンを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0097】第4の実施形態は、第2の実施形態における原料を変更したものであるから、以下においては、原料についての説明する。

【0098】

【化3】



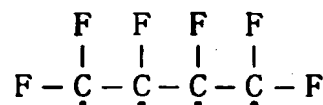
【0099】反応室 11 の内部に、【化3】に示すヘキサフルオロ-1, 3-ブタジエンを導入すると、ヘキサフルオロ-1, 3-ブタジエンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反

応して、半導体基板 12 上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0100】第4の実施形態においては、ヘキサフルオロ-1, 3-ブタジエンは、分子中に炭素原子同士の二重結合を 2 つ有しているため、プラズマ中でこれら 2 つの二重結合が部分的に分解されると、例えば【化4】に示すような、4 つの未結合手を有するラジカルが生成され、生成されたラジカルが重合反応を起こす。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に 3 次元的になるため、架橋密度が第2及び第3の実施形態よりも大きくなって、ガラス転移点が一層高くなるので、耐熱性が一層向上する。

【0101】

【化4】



【0102】尚、第4の実施形態に係る層間絶縁膜の原料としては、分子中に炭素原子同士の二重結合を 2 つ有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物を単独で用いてもよいし、この弗素化炭素化合物に他の成分例えば N₂ 等が含まれていてもよい。

【0103】(第5の実施形態) 第5の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の三重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物である 3, 3, 3-トリフルオロプロピンを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0104】第5の実施形態は、第2の実施形態における原料を変更したものであるから、以下においては、原料についての説明する。

【0105】反応室 11 の内部に 3, 3, 3-トリフルオロプロピン (CF₃ C≡CH) を導入すると、3, 3, 3-トリフルオロプロピンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0106】第5の実施形態においては、3, 3, 3-トリフルオロプロピンが水素原子を含んでいるため、炭素原子及び弗素原子と共に水素原子を含む弗素化アモルファスカーボン膜であって、堆積直後における弗素化アモルファスカーボン膜の比誘電率は 2.5 であった。

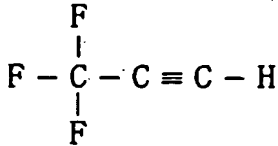
【0107】第5の実施形態においては、3, 3, 3-トリフルオロプロピンは、【化5】に示すように、炭素原子同士の三重結合を有しているため、プラズマ中でこの三重結合が部分的に分解されると、例えば【化6】に示すような、4 つの未結合手を有するラジカルが生成され、生成されたラジカルが重合反応を起こす。このた

17

め、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるため、架橋密度が第2及び第3の実施形態よりも大きくなって、ガラス転移点が一層高くなるので、耐熱性が一層向上する。

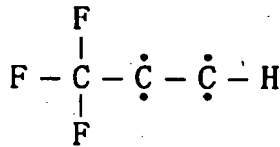
【0108】

【化5】



【0109】

【化6】



【0110】第5の実施形態に係る層間絶縁膜の耐熱性を評価するために、第5の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が形成された半導体基板を真空中における400℃の温度下で1時間保持したところ、弗素化アモルファスカーボン膜の膜厚減少は約5%程度に過ぎないと共に、比誘電率は約2.6程度であって約0.1の増加に留まった。これにより、第5の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が耐熱性に優れていることを確認できた。

【0111】尚、第5の実施形態においては、分子中に炭素原子同士の三重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物として、3, 3, 3-トリフルオロプロピンを用いたが、これに代えて、パーフルオロ(t-ブチル)アセチレン(HC≡CC(CF₃)₃)を用いてもよい。

【0112】また、第5の実施形態に係る層間絶縁膜の原料としては、分子中に炭素原子同士の三重結合を有していると共に水素原子を含む弗素化炭素化合物を単独で用いてもよいし、この弗素化炭素化合物に他の成分例えばN₂等が含まれていてもよい。

【0113】(第6の実施形態)第6の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の三重結合を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物であるヘキサフルオロ-2-ブチンを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0114】第6の実施形態は、第2の実施形態における原料を変更したものであるから、以下においては、原料についてのみ説明する。

【0115】反応室11の内部にヘキサフルオロ-2-ブチン(CF₃C≡CCF₃)を導入すると、ヘキサフルオロ-2-ブチンが部分的に分解して、分解生成物と

18

してモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0116】第6の実施形態においては、ヘキサフルオロ-2-ブチンが水素原子を含んでいないため、炭素原子及び弗素原子のみを含む弗素化アモルファスカーボン膜であって、堆積直後における弗素化アモルファスカーボン膜の比誘電率は2.3であった。

10 【0117】第6の実施形態においては、ヘキサフルオロ-2-ブチンは、前記の【化5】に示した3, 3, 3-トリフルオロプロピンと同様に、炭素原子同士の三重結合を有しているため、プラズマ中でこの三重結合が部分的に分解されると、3, 3, 3-トリフルオロプロピンの場合と同様に、4つの未結合手を有するラジカルが生成され、生成されたラジカルが重合反応を起こす。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるため、架橋密度が第2及び第3の実施形態よりも大きくなって、ガラス転移点が一層高くなるので、耐熱性が一層向上する。

【0118】第6の実施形態に係る層間絶縁膜の耐熱性を評価するために、第6の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が形成された半導体基板12を真空中における400℃の温度下で1時間保持したところ、弗素化アモルファスカーボン膜の膜厚減少は約5%程度に過ぎないと共に、比誘電率は約2.4程度であって約0.1の増加に留まった。これにより、第6の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が耐熱性に優れていることを確認できた。

30 【0119】尚、第6の実施形態においては、分子中に炭素原子同士の三重結合を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物を単独で用いてもよいし、この弗素化炭素化合物に他の成分例えばN₂等が含まれていてもよい。

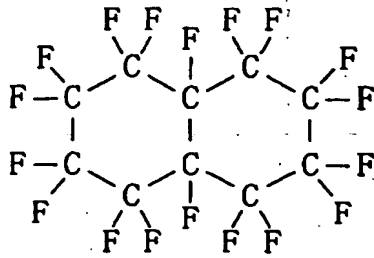
【0120】(第7の実施形態)第7の実施形態に係る層間絶縁膜は、分子中に炭素原子同士の多環構造(縮合環構造)を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物であるパーフルオロデカリンを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗素化アモルファスカーボン膜である。

【0121】第7の実施形態は、第2の実施形態における原料を変更したものであるから、以下においては、原料についてのみ説明する。

【0122】反応室11の内部に、【化7】に示すパーフルオロデカリンを導入すると、パーフルオロデカリンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成され、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

50 【0123】

【化7】

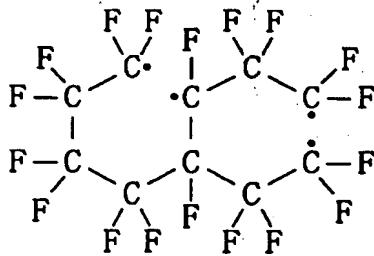


【0124】第7の実施形態においては、パーフルオロデカリンが水素原子を含んでいないため、炭素原子及び弗素原子のみを含む弗素化アモルファスカーボン膜であって、堆積直後における弗素化アモルファスカーボン膜の比誘電率は2.3であった。

【0125】第7の実施形態においては、パーフルオロデカリンは、【化7】に示すように、炭素原子同士が多環構造（縮合環構造）を有しているため、プラズマ中で多環構造が部分的に分解されると、例えば【化8】に示すような、4つの未結合手を有するラジカルが生成され、生成されたラジカルが重合反応を起こす。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるため、架橋密度が第2及び第3の実施形態よりも大きくなって、ガラス転移点が一層高くなるので、耐熱性が一層向上する。

【0126】

【化8】



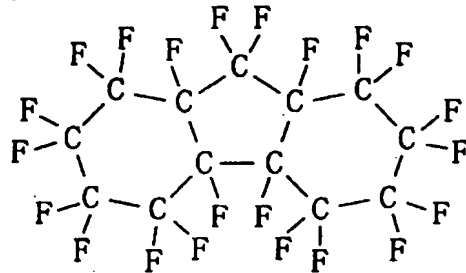
【0127】第7の実施形態に係る層間絶縁膜の耐熱性を評価するために、第7の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が形成された半導体基板12を真空中における400℃の温度下で1時間保持したところ、弗素化アモルファスカーボン膜の膜厚減少は約5%程度に過ぎないと共に、比誘電率は約2.4程度であって約0.1の増加に留まった。これにより、第7の実施形態に係る弗素化アモルファスカーボン膜が耐熱性に優れていることを確認できた。

【0128】尚、第7の実施形態においては、分子中に炭素原子同士が多環構造を有していると共に水素原子を含まない弗素化炭素化合物として、パーフルオロデカリンを用いたが、これに代えて、【化9】に示すパーフルオロフロレン、【化10】に示すパーフルオロー1-メチルデカリン及び【化11】に示すPerfluoro(tetradecahydrophenanthrene)等の縮合環構造を有する弗素化炭

素化合物を用いてもよいし、【化12】に示すパーフルオロビフェニール等の通常多環構造を有する弗素化炭素化合物を用いてもよい。

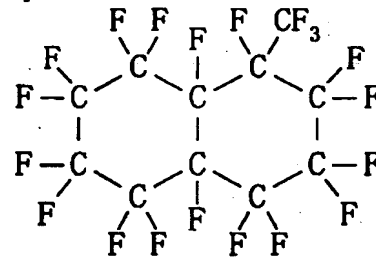
【0129】

【化9】



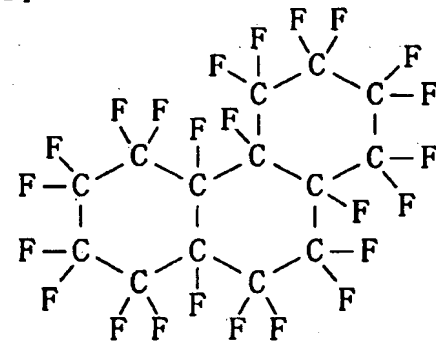
【0130】

【化10】



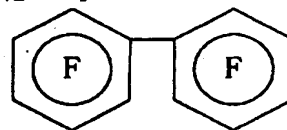
【0131】

【化11】



【0132】

【化12】



【0133】（第8の実施形態）第8の実施形態に係る層間絶縁膜は、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物であるフェニルトリメトキシシランと、弗化炭素化合物であるF-C結合を有するベンゼン誘導体との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重

合反応させることによって形成される弗化炭素含有シリコン酸化膜である。

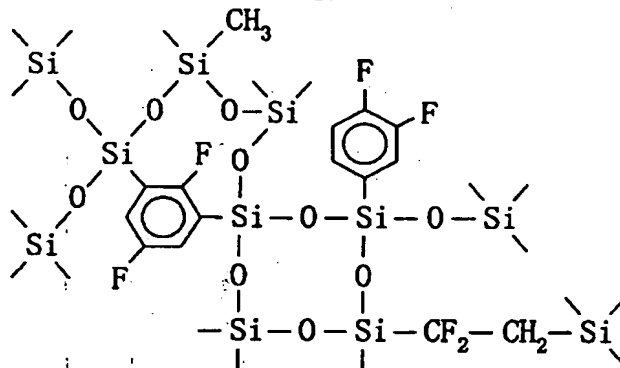
【0134】以下、第8の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0135】まず、例えば400℃に加熱され且つ切替スイッチ14により接地された試料台13の上に半導体基板12を載置した後、反応室11の内部を真空ポンプ26により真空引きする。

【0136】次に、【化1】に示されるフェニルトリメトキシシランを貯蔵している第1の貯蔵容器24に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを200cc/minの流量で供給して、バブリングされたフェニルトリメトキシシランを反応室11の内部に導入すると共に、F-C結合を有するベンゼン誘導体であって【化13】に示すジフロロベンゼンを貯蔵している第2の貯蔵容器25に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを200cc/minの流量で供給して、バブリングされたジフロロベンゼンを反応室11の内部に導入する。

【0137】

【化13】



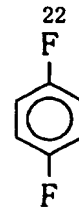
【0140】第8の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマCVD法により形成されるため、有機SOG薬液の塗布工程及び有機SOG膜の熱硬化工程を複数回づつ行なう必要がないので、製膜性が向上すると共にコストの低減を図ることができる。

【0141】また、第8の実施形態に係るプラズマ重合膜の比誘電率は約2.5であって低い誘電率を示す。また、2週間室温で放置した後の比誘電率は約2.7であって、経時変化の少ない安定した膜質である。従って、第8の実施形態によると、製膜性の向上を図りつつ比誘電率の低減を実現することができる。

【0142】さらに、リーク電流密度についても、5MV/cmで約 $4.5 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ と良好な結果が得られた。

【0143】尚、反応室11内の圧力は、約1.0 Torrに設定したが、これに限定されるものではなく、100mTorr~20Torrの範囲内で適宜選択できるが、0.5~5.0 Torrの範囲内が好ましい。

【0144】また、上部電極であるシャワーヘッド16



【0138】次に、反応室11内の圧力を約1.0 Torrに調整した後、上部電極となるシャワーヘッド16に第2の高周波電源17から周波数が13.56MHzである600Wの高周波電力を印加する。このようにすると、フェニルトリメトキシシランガス及びジフロロベンゼンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成されると共に、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12の上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。このプラズマ重合膜の構造を【化14】に模式的に示す。

【0139】

【化14】

に印加する高周波電力としては、100~1000Wの範囲内で適宜選択できるが、250~500Wの範囲内が好ましい。

【0145】また、半導体基板12の加熱温度は、第1の実施形態と同様、25℃~500℃の範囲内で適宜選択可能であるが、200~400℃が好ましい。

【0146】また、前記の一般式： $\text{R}^1_x \text{Si}(\text{OR}^2)_{4-x}$ において、 R^1 がフェニル基である化合物としては、フェニルトリメトキシシランのほかに、ジフェニルジメトキシシラン等を挙げることができ、 R^1 がビニル基である化合物としては、ビニルトリメトキシシラン及びジビニルジメトキシシラン等を挙げることができる。

【0147】また、弗化炭素化合物であるF-C結合を有するベンゼン誘導体としては、ジフロロベンゼンに代えて、フロロベンゼン及びヘキサフロロベンゼン等の弗化ベンゼンを用いることができる。

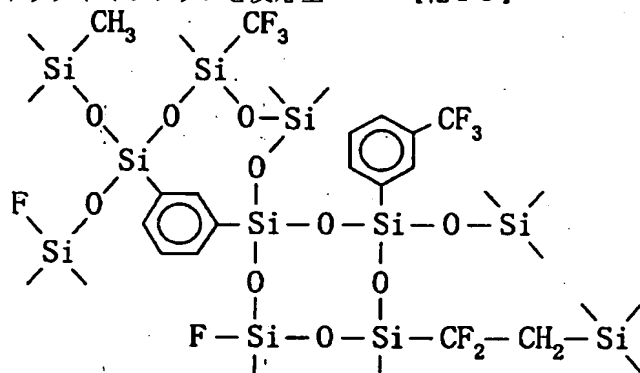
【0148】(第9の実施形態) 第9の実施形態に係る層間絶縁膜は、一般式： $\text{R}^1_x \text{Si}(\text{OR}^2)_{4-x}$ (但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアル

キル基であり、 x は1～3の整数である。)で表わされる有機シリコン化合物であるフェニルトリメトキシシランと、弗化炭素化合物である C_2F_6 との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗化炭素含有シリコン酸化膜である。

【0149】以下、第9の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0150】まず、例えば400℃に加熱され且つ切替スイッチ14により接地された試料台13の上に半導体基板12を載置した後、反応室11の内部を真空ポンプ26により真空引きする。

【0151】次に、フェニルトリメトキシシランを貯蔵している第1の貯蔵容器24に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを200cc/minの流量で供給して、バブリングされたフェニルトリメトキシシランを反応室



【0154】第9の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマCVD法により形成されるため、有機SOG薬液の塗布工程及び有機SOG膜の熱硬化工程を複数回づつ行なう必要がないので、製膜性が向上すると共にコストの低減を図ることができる。

【0155】また、第9の実施形態に係るプラズマ重合膜の比誘電率は約2.9であって低い誘電率を示す。また、2週間室温で放置した後の比誘電率は約3.0であって、経時変化の少ない安定した膜質である。従って、第9の実施形態によると、製膜性の向上を図りつつ比誘電率の低減を実現することができる。

【0156】さらに、リーク電流密度についても、5MV/cmで約 $5.5 \times 10^{-8} A/cm^2$ と良好な結果が得られた。

【0157】尚、反応室11内の圧力は、約1.0 Torrに設定したが、これに限定されるものではなく、100mTorr～20Torrの範囲内で適宜選択できるが、0.5～5.0 Torrの範囲内が好ましい。

【0158】また、上部電極であるシャワーヘッド16に印加する高周波電力としては、100～2000Wの範囲内で適宜選択できるが、300～750Wの範囲内が好ましい。

【0159】また、半導体基板12の加熱温度は、第1の実施形態と同様、25℃～500℃の範囲内で適宜選

11の内部に導入すると共に、 C_2F_6 ガスを第3のガス供給ライン23から反応室11内に導入する。

【0152】次に、反応室11内の圧力を約1.0 Torrに調整した後、上部電極となるシャワーヘッド16に第2の高周波電源17から周波数が13.56MHzである700Wの高周波電力を印加する。このようにすると、フェニルトリメトキシシランガス及び C_2F_6 が部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成されると共に、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12の上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。このプラズマ重合膜の構造を【化15】に模式的に示す。

【0153】

【化15】

択可能であるが、200～400℃が好ましい。

【0160】また、前記の一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ において、 R^1 がフェニル基である化合物としては、フェニルトリメトキシシランのほかに、ジフェニルジメトキシシラン等を挙げることができ、 R^1 がビニル基である化合物としては、ビニルトリメトキシシラン及びジビニルジメトキシシラン等を挙げることができる。

【0161】また、弗化炭素化合物としては、 C_2F_6 に代えて、 CF_4 又は C_4F_8 等を用いてもよい。

【0162】さらに、第9の実施形態においては、一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させてプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜を形成したが、これに代えて、一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させてプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜を形成してもよいし、前記の一般式： $R^1_x Si(OR^2)_{4-x}$ 又は一般式： $R^1_x SiH_{4-x}$ で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、例えば O_2 や H_2O 等よりなる酸化剤と反応させて層間絶縁膜を形成してもよい。この場合には、第3のガス供給ライン23から、 C_2F_6 ガスと共に O_2 ガス又は H_2O ガスを反応室11の内部に導入する。

【0163】尚、前記の一般式： $R^1_x Si H_{4-x}$ において、 R^1 がフェニル基である化合物としては、フェニルシラン及びジフェニルシラン等を挙げることができ、 R^1 がビニル基である化合物としては、ビニルシラン及びジビニルシラン等を挙げることができる。

【0164】（第10の実施形態）第10の実施形態に係る層間絶縁膜は、一般式： $R^1_x Si (OR^2)_{4-x}$

（但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物であるフェニルトリメトキシシランと、弗化炭素化合物である【化7】に示すパーフルオロデカリンとの混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗化炭素含有シリコン酸化膜である。

【0165】以下、第10の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0166】まず、例えば400℃に加熱され且つ切替スイッチ14により接地された試料台13の上に半導体基板12を載置した後、反応室11の内部を真空ポンプ26により真空引きする。

【0167】次に、フェニルトリメトキシシランを貯蔵している第1の貯蔵容器24に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを280cc/minの流量で供給して、バブリングされたフェニルトリメトキシシランを反応室11の内部に導入すると共に、パーフルオロデカリンを貯蔵している第2の貯蔵容器25に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを42cc/minの流量で供給して、バブリングされたパーフルオロデカリンを反応室11の内部に導入する。

【0168】次に、反応室11内の圧力を約2.0 Torrに調整した後、上部電極となるシャワーヘッド16に第2の高周波電源17から周波数が13.56MHzである500Wの高周波電力を印加する。このようにすると、フェニルトリメトキシシランガス及びパーフルオロデカリンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成されると共に、生成されたモノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板12の上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0169】第10の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマCVD法により形成されるため、有機SOG薬液の塗布工程及び有機SOG膜の熱硬化工程を複数回づつ行なう必要がないので、製膜性が向上すると共にコストの低減を図ることができる。

【0170】また、第10の実施形態に係るプラズマ重合膜の比誘電率は約2.6であって低い誘電率を示す。また、2週間室温で放置した後の比誘電率は約2.7であって、経時変化の少ない安定した膜質である。従って、第10の実施形態によると、製膜性の向上を図りつつ比誘電率の低減を実現することができる。

【0171】さらに、ガラス転移点は430℃以上であって、良好な耐熱性を示した。

【0172】尚、反応室11内の圧力は、約2.0 Torrに設定したが、これに限定されるものではなく、100mTorr～20Torrの範囲内で適宜選択できるが、0.5～5.0 Torrの範囲内が好ましい。

【0173】また、上部電極であるシャワーヘッド16に印加する高周波電力としては、100～1000Wの範囲内で適宜選択できるが、250～500Wの範囲内が好ましい。

【0174】また、半導体基板12の加熱温度は、第1の実施形態と同様、25℃～500℃の範囲内で適宜選択可能であるが、200～400℃が好ましい。

【0175】また、前記の一般式： $R^1_x Si (OR^2)_{4-x}$ において、 R^1 がフェニル基である化合物としては、フェニルトリメトキシシランのほかに、ジフェニルジメトキシシラン等を挙げることができ、 R^1 がビニル基である化合物としては、ビニルトリメトキシシラン及びジビニルジメトキシシラン等を挙げることができる。

【0176】また、弗化炭素化合物としては、パーフルオロデカリンに限られず、第2～第7の実施形態に示したものを適宜用いることができる。

【0177】（第11の実施形態）第11の実施形態に係る層間絶縁膜は、シロキサン誘導体であるヘキサメチルジシロキサンと、弗化炭素化合物である【化7】に示すパーフルオロデカリンとの混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって形成される弗化炭素含有シリコン酸化膜である。

【0178】以下、第11の実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法について説明する。

【0179】まず、例えば400℃に加熱され且つ切替スイッチ14により接地された試料台13の上に半導体基板12を載置した後、反応室11の内部を真空ポンプ26により真空引きする。

【0180】次に、ヘキサメチルジシロキサンを貯蔵している第1の貯蔵容器24に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを28cc/minの流量で供給して、バブリングされたヘキサメチルジシロキサンを反応室11の内部に導入すると共に、パーフルオロデカリンを貯蔵している第2の貯蔵容器25に例えばアルゴンよりなるキャリアガスを280cc/minの流量で供給して、バブリングされたパーフルオロデカリンを反応室11の内部に導入する。

【0181】次に、反応室11内の圧力を約0.8 Torrに調整した後、上部電極となるシャワーヘッド16に第2の高周波電源17から周波数が13.56MHzである250Wの高周波電力を印加する。このようにすると、ヘキサメチルジシロキサン及びパーフルオロデカリンが部分的に分解して、分解生成物としてモノマー、イオン及びラジカルが生成されると共に、生成されたモ

ノマー、イオン及びラジカルが重合反応して、半導体基板 12 の上にプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜が形成される。

【0182】第 11 の実施形態に係る層間絶縁膜は、プラズマ CVD 法により形成されるため、有機 SOG 薬液の塗布工程及び有機 SOG 膜の熱硬化工程を複数回づつ行なう必要がないので、製膜性が向上すると共にコストの低減を図ることができる。

【0183】また、第 11 の実施形態に係るプラズマ重合膜の比誘電率は約 2.75 であって低い誘電率を示す。また、2 週間室温で放置した後の比誘電率は約 2.8 であって、経時変化の少ない安定した膜質である。従って、第 11 の実施形態によると、製膜性の向上を図りつつ比誘電率の低減を実現することができる。

【0184】さらに、ガラス転移点は 430℃ 以上であって、良好な耐熱性を示した。

【0185】尚、反応室 11 内の圧力は、約 0.8 Torr に設定したが、これに限定されるものではなく、100mTorr～20Torr の範囲内で適宜選択できるが、0.5～5.0 Torr の範囲内が好ましい。

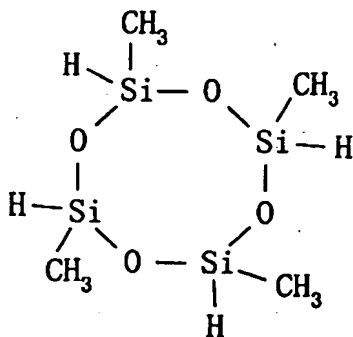
【0186】また、上部電極であるシャワーヘッド 16 に印加する高周波電力としては、100～1000W の範囲内で適宜選択できるが、250～500W の範囲内が好ましい。

【0187】また、半導体基板 12 の加熱温度は、第 1 の実施形態と同様、25℃～500℃ の範囲内で適宜選択可能であるが、200～400℃ が好ましい。

【0188】また、シロキサン誘導体としては、ヘキサメチルジシロキサンに代えて、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン ($\text{H}(\text{CH}_3)_2\text{Si}-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{H}$ 、又は【化 16】に示す 1,3,5,7-テトラメチルシクロテトラシロキサン等を用いてもよい。

【0189】

【化 16】



【0190】また、弗化炭素化合物としては、パーフルオロデカリンに限られず、第 2～第 7 の実施形態に示したものを適宜用いることができる。

【0191】さらに、第 11 の実施形態においては、シロキサン誘導体を主成分とする原料をプラズマ重合反応

させてプラズマ重合膜よりなる層間絶縁膜を形成したが、これに代えて、シロキサン誘導体を主成分とする原料を、例えば O_2 や H_2O 等よりなる酸化剤と反応させて層間絶縁膜を形成してもよい。この場合には、第 3 のガス供給ライン 23 から、 O_2 ガス又は H_2O ガスを反応室 11 の内部に導入する。

【0192】尚、第 1～第 11 の実施形態においては、キャリアガスとしてアルゴンガスを使用したか、これに代えて、水素、窒素又はヘリウム等を適宜に用いることができる。

【0193】また、第 1～第 11 の実施形態においては、下部電極となる試料台 13 は接地していたが、これに代えて、切替スイッチ 14 により、試料台 13 に第 1 の高周波電源 15 から高周波電力を印可すると、反応室 11 において発生した反応ガスよりなるプラズマを試料台 13 に効率良く取り込めるので、層間絶縁膜の形成速度を 2～5 倍程度に向上させることができる。

【0194】

【発明の効果】第 1 の層間絶縁膜の形成方法によると、従来の有機 SOG 膜と比較して、比誘電率の値が同等であるにも拘わらず、層間絶縁膜中に含まれる SiCH_3 の割合が大きく低減しているため、該層間絶縁膜を酸素プラズマに晒しても、 SiOH は僅かしか生成されない。このため、コンタクトホールに金属材料を埋め込む工程において、 SiOH が脱水縮合反応を起こして H_2O を生成し、コンタクトにおける導通不良を発生させるという問題が生じない。また、第 1 の層間絶縁膜の形成方法は、有機シリコ化合物を主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって有機含有シリコン酸化膜を形成するため、有機 SOG の薬液を塗布する工程及び硬化する工程を行なう必要がないので、製膜性にも優れている。

【0195】第 1 の層間絶縁膜の形成方法において、有機シリコン化合物がフェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランであると、一般式： $\text{R}^1_x\text{Si}(\text{OR}^2)_{4-x}$ において R^1 がフェニル基である有機シリコン化合物を確実に実現でき、有機シリコン化合物がフェニルシラン又はジフェニルシランであると、一般式： $\text{R}^1_x\text{SiH}_{4-x}$ において R^1 がフェニル基である有機シリコン化合物を確実に実現できる。

【0196】第 1 の層間絶縁膜の形成方法において、有機シリコン化合物がビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランであると、一般式： $\text{R}^1_x\text{Si}(\text{OR}^2)_{4-x}$ において R^1 がビニル基である有機シリコン化合物を確実に実現でき、有機シリコン化合物がビニルシラン又はジビニルシランであると、一般式： $\text{R}^1_x\text{SiH}_{4-x}$ において R^1 がビニル基である有機シリコン化合物を確実に実現できる。

【0197】第 2 の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の二重結合を 2 つ

以上有しており、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすく、このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進する。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるので、架橋密度が確実に大きくなってガラス転移点温度が高くなるので、耐熱性が極めて向上する。

【0198】第2の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物が炭素原子及び弗素原子のみからなると、プラズマ重合膜に水素が含まれないので、層間絶縁膜の比誘電率が低減する。この場合、弗化炭素化合物がヘキサフルオロー-1, 3-ブタジエンであると、分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有し且つ炭素原子及び弗素原子のみからなる弗化炭素化合物を確実に実現できる。

【0199】第3の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の三重結合を有しており、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすく、このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進する。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるので、架橋密度が確実に大きくなってガラス転移点温度が高くなるので、耐熱性が極めて向上する。

【0200】第3の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物が炭素原子及び弗素原子のみからなると、プラズマ重合膜に水素が含まれないので、比誘電率が低減する。この場合、弗化炭素化合物がヘキサフルオロー-2-ブチンであると、分子中に炭素原子同士の三重結合を有し且つ炭素原子及び弗素原子のみからなる弗化炭素化合物を確実に実現できる。

【0201】第4の層間絶縁膜の形成方法によると、弗化炭素化合物は分子中に多環構造を有しており、該弗化炭素化合物がプラズマにより分解されると未結合手を3本以上有するラジカルが生成されやすく、このようなラジカルは3次元的な重合反応を促進する。このため、プラズマ重合膜を構成するポリマーの結合が確実に3次元的になるので、架橋密度が確実に大きくなってガラス転移点温度が高くなるので、耐熱性が極めて向上する。

【0202】第4の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物が炭素原子及び弗素原子のみからなると、プラズマ重合膜に水素が含まれないので、比誘電率が低減する。

【0203】また、第4の層間絶縁膜の形成方法において、弗化炭素化合物が分子中に縮合多環構造を有していると、未結合手を3本以上有するラジカルがより生成され易いので、架橋密度が一層大きくなって、耐熱性が一層向上する。この場合、弗化炭素化合物がパーフルオロデカリン、パーフルオロフロレン又はパーフルオロテトラデカヒドロフェナンスレンであると、分子中に縮合多

環構造を有し且つ炭素原子及び弗素原子のみからなる弗化炭素化合物を確実に実現できる。

【0204】第5の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物とを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、有機SOGの薬液を塗布する工程及び硬化する工程を行なう必要がないので、製膜性にも優れている。また、原料に弗化炭素化合物が含まれているので、層間絶縁膜の比誘電率が低減する。

【0205】第6の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第2の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の二重結合を2つ以上有しているため、架橋密度が高くなって耐熱性に優れている。

【0206】第7の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第3の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に炭素原子同士の三重結合を有しているため、架橋密度が高くなって耐熱性に優れている。

【0207】第8の層間絶縁膜の形成方法によると、有機シリコン化合物と弗化炭素化合物との混合ガスを主成分とする原料をプラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって弗化炭素含有シリコン酸化膜を形成するため、つまり有機シリコン化合物及び弗化炭素化合物を含んでいるため、比誘電率が極めて低い。また、第4の層間絶縁膜の形成方法と同様、弗化炭素化合物は分子中に多環構造を有しているため、架橋密度が高くなって耐熱性に優れている。

【0208】第6～第8の層間絶縁膜の形成方法において、有機シリコン化合物が、一般式： $R^1_x Si(O R^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる化合物又はシロキサン誘導体よりなると、比誘電率及び耐熱性に加えて、製膜性も向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法に用いるプラズマCVD装置の概略図である。

【図2】(a)～(d)は本発明の各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法が適用される第1の半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

31

【図3】(a)～(d)は本発明の各実施形態に係る層間絶縁膜の形成方法が適用される第2の半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図4】第1の実施形態に係る層間絶縁膜及び従来の有機SOG膜に対して、フーリエ変換赤外分光分析を行なったときの分析結果を示す図である。

【図5】第1の実施形態に係る層間絶縁膜に対して、熱処理を施していない場合、450℃の熱処理を施した場合、及び500℃の熱処理を施した場合のフーリエ変換赤外分光分析の分析結果を示す図である。

【図6】(a)～(d)は従来の層間絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

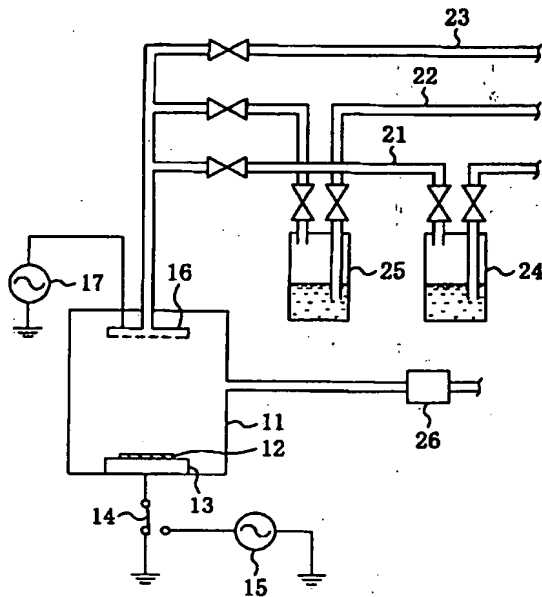
【符号の説明】

- 11 反応室
- 12 半導体基板
- 13 試料台
- 14 切替スイッチ
- 15 第1の高周波電源
- 16 シャワーヘッド
- 17 第2の高周波電源
- 21 第1のガス供給ライン

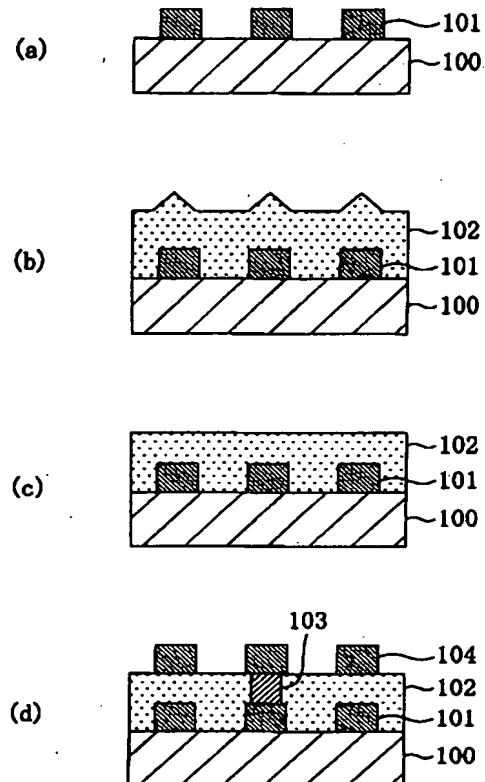
32

- 22 第2のガス供給ライン
- 23 第3のガス供給ライン
- 24 第1のガス貯蔵容器
- 25 第2のガス貯蔵容器
- 26 真空ポンプ
- 100 半導体基板
- 101 第1の金属配線
- 102 層間絶縁膜
- 103 コンタクト
- 104 第2の金属配線
- 200 半導体基板
- 201 第1層の窒化シリコン膜
- 202 第1層の層間絶縁膜
- 203 第2層の窒化シリコン膜
- 204 第2層の層間絶縁膜
- 205 配線パターン形成用開口部
- 206 コンタクト形成用開口部
- 207 金属膜
- 208 金属配線
- 209 コンタクト

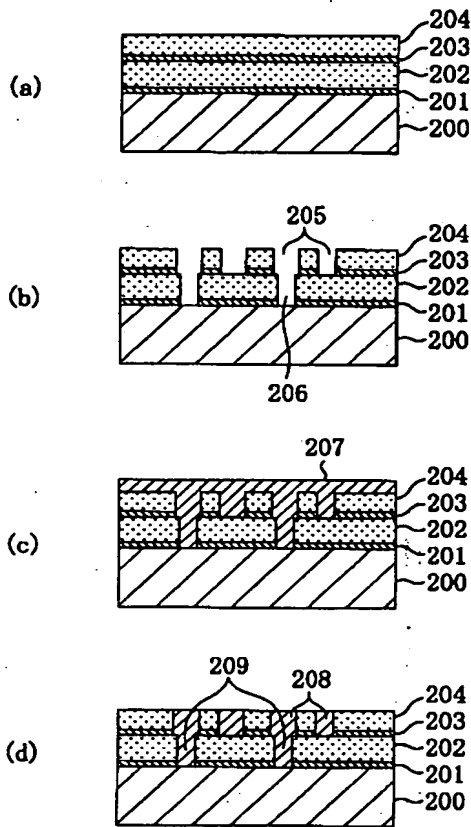
【図1】



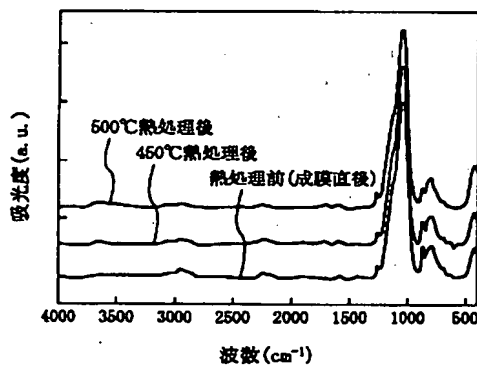
【図2】



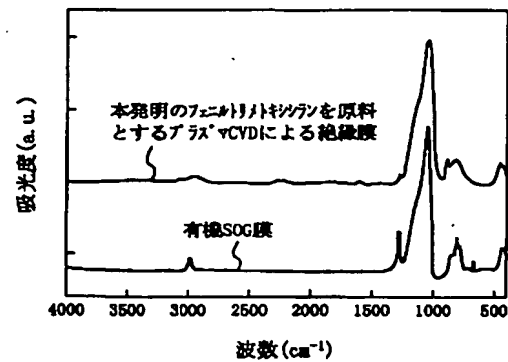
【図 3】



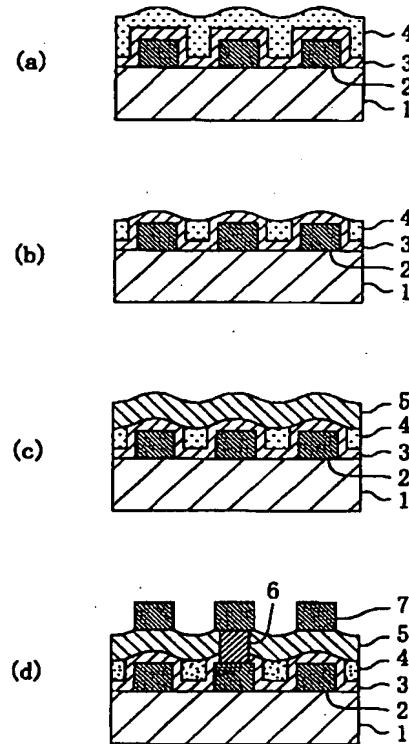
【図 5】



【図 4】



【図 6】



【手続補正書】

【提出日】平成13年4月19日(2001.4.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 一般式： $R^1_xSi(OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は1～3の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成

することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 2】 前記有機シリコン化合物は、フェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 3】 前記有機シリコン化合物は、ビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 4】 一般式： $R^1_x Si H_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は 1～3 の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、基板の温度を 200℃以上にして、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、前記基板上に有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 5】 前記有機シリコン化合物は、フェニルシラン又はジフェニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 6】 前記有機シリコン化合物は、ビニルシラン又はジビニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 7】 フェニルシラン又はジフェニルシランよりなる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 8】 分子中に炭素原子同士の三重結合を有する弗化炭素化合物（但し、 C_2F_2 を除く。）を主成分とする原料をプラズマ重合反応させることによって、弗素化アモルファスカーボン膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 9】 前記弗化炭素化合物は、炭素原子及び弗素原子のみからなることを特徴とする請求項 8 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 10】 前記弗化炭素化合物は、ヘキサフルオロ 2-ブチンであることを特徴とする請求項 9 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【手続補正書】

【提出日】平成 13 年 10 月 1 日（2001. 10.

1）

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一般式： $R^1_x Si (OR^2)_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 R^2 はアルキル基であり、 x は 1～3 の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 2】 前記有機シリコン化合物は、フェニルトリメトキシシラン又はジフェニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成

方法。

【請求項 3】 前記有機シリコン化合物は、ビニルトリメトキシシラン又はジビニルジメトキシシランであることを特徴とする請求項 1 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 4】 一般式： $R^1_x Si H_{4-x}$ （但し、 R^1 はフェニル基又はビニル基であり、 x は 1～3 の整数である。）で表わされる有機シリコン化合物を主成分とする原料を、基板の温度を 200℃以上にして、プラズマ重合反応させるか又は酸化剤と反応させることによって、前記基板上に有機含有シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜を形成することを特徴とする層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 5】 前記有機シリコン化合物は、フェニルシラン又はジフェニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項 6】 前記有機シリコン化合物は、ビニルシラン又はジビニルシランであることを特徴とする請求項 4 に記載の層間絶縁膜の形成方法。

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

ターマコード* (参考)

H 0 1 L 21/314

H 0 1 L 21/314

A

21/316

21/316

X

21/768

21/90

S

V

(72)発明者 新井 康司
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 澤田 和幸
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

F ターム(参考) 4J031 BA05 BA17 BB01 BB02 BB05
BC07 BC13 BD24
4K030 AA06 BA27 BA29 BA61 CA04
FA01 LA15.
5F033 HH11 JJ11 KK08 MM01 MM02
PP06 PP15 QQ09 QQ10 QQ21
QQ25 QQ48 QQ73 QQ75 RR06
RR23 RR24 SS03 SS10 SS15
TT04 XX01 XX24 XX34
5F058 AC03 AC05 AD05 AD06 AD11
AF02 AH02 BD04 BD09 BD10
BD19 BJ02

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ ~~FADED~~ TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.